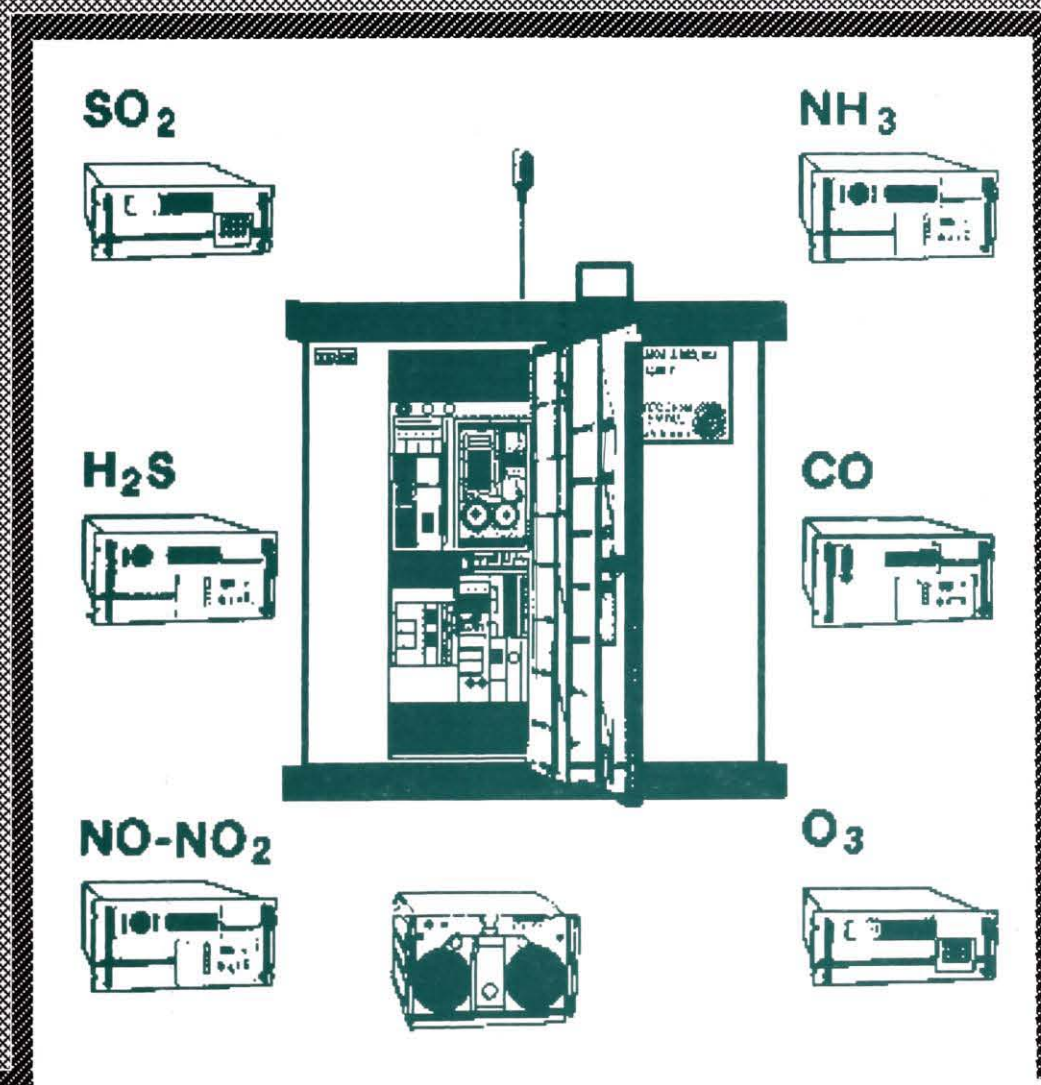


Taller II de ingeniería ambiental

Alfonso Espitia Cabrera



AM
D883.7
6
1.55

217581

C.B. 2893241

Taller II de ingeniería ambiental

Alfonso Espitia Cabrera



AZCAPOTZALCO

COSEI BIBLIOTECA

2893241

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo  **Azcapotzalco**

División de Ciencias Básicas e Ingeniería
Departamento de Energía

UAM-AZCAPOTZALCO

RECTOR

Dr. Adrián Gerardo de Garay Sánchez

SECRETARIA

Dra. Sylvie Jeanne Turpin Marion

COORDINADORA GENERAL DE DESARROLLO ACADÉMICO

Dra. Alicia Chacalo Hilu

COORDINADOR DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

DI Jorge Armando Morales Aceves

JEFE DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN EDITORIALES

DCG Edgar Barbosa Álvarez Lerín

U
T
R
T

ISBN: 970-654-994-3

©UAM-Azcapotzalco

Alfonso Espitia Cabrera

Corrección:

Marisela Juárez Capistrán

Ilustración de portada:

Consuelo Quiroz Reyes

Sección de producción
y distribución editoriales
Tel. 5318-9222 / 9223
Fax 5318-9222

Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco
Av. San Pablo 180
Col. Reynosa Tamaulipas
Delegación Azcapotzalco
C.P. 02200
México, D.F.

Taller II de ingeniería ambiental

1a. edición, 2002

1a. reimpresión, 2006

Impreso en México

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	
1.2 CONTAMINACIÓN DE ORIGEN INDUSTRIAL	
1.3 CONTAMINACIÓN DE ORIGEN VEHICULAR	
1.4 CONTAMINACIÓN NATURAL	
1.5 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN	
2. PROBLEMÁTICA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LAS ZONAS URBANAS	19
3. SISTEMAS DE MONITOREO AUTOMÁTICOS	23
3.1. MÉTODOS DISPONIBLES	
4. METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO DE REDES	29
4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO	
4.2. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL NÚMERO DE ESTACIONES	
4.3. CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES	

1. Introducción

Por monitoreo atmosférico, se entiende como el muestreo de la atmósfera, el análisis, el procesamiento y el informe final de los resultados a un sistema de control y/o vigilancia de la calidad del aire, la cual se define como óptima cuando la atmósfera presenta características físicas y químicas similares a las naturales y se considera deteriorada cuando existen agentes físicos, químicos o biológicos extraños o bien en concentraciones significativamente diferentes de las óptimas.

El monitoreo de los contaminantes atmosféricos se inició formalmente en nuestro país en la década de los 60's, cuando el sector salud instaló en 1965 una red manual de 5 estaciones, misma que se amplió el año siguiente a 14 y que llegó a crecer a 22 estaciones distribuidas en el área metropolitana de la ciudad de México en 1976. paralelamente a ésta, la extinta subsecretaría de mejoramiento del ambiente, instaló redes manuales en las ciudades de Guadalajara, Monterrey, ciudad Juárez, Tijuana, Cuernavaca, Tula, Monclova, Queretaro, Saltillo y Chihuahua, que operaron parcialmente y poco tiempo debido a problemas de consumibles, refacciones y recursos humanos. Finalmente operó en la ciudad de México una red automática en el período de 1975 a 1980, compuesto de 16 estaciones, como antecedente de la actual red automática de monitoreo atmosférico (rama).

La información que se genera puede servir para los siguientes objetivos:

- . Establecer normas de calidad del aire.
- . Diseñar programas de control de contaminantes.
- . Evaluar estrategias y programas de control.
- . Evaluar riesgos a la salud humana y al ambiente.
- . Observar tendencias a largo plazo.
- . Detectar episodios e implementar medidas de control de los mismos.
- . Validar modelos de dispersión.
- . Investigar casos especiales.
- . Investigar reactividad e interacciones entre contaminantes.
- . Planeación del uso del suelo.
- . Otros.

Los sistemas de monitoreo se pueden clasificar de acuerdo con las áreas de estudio, las cuales pueden ser:

- . regiones (áreas de geografía homogénea con escalas de decenas a cientos de kilómetros)
- . áreas urbanas o industriales (ciudades con escalas de decenas de kilómetros)
- . áreas suburbanas (áreas con uso del suelo uniforme con una escala del orden de kilómetros)
- . áreas remotas (generalmente áreas rurales con concentraciones de fondo con escalas de decenas a cientos de kilómetros)
- . microáreas. (áreas específicas con escalas de metros a decenas de metros)

La ubicación de las estaciones de medición de contaminantes atmosféricos como parte de una red de monitoreo dependen de los objetivos que se pretendan alcanzar y del área que se pretenda cubrir, los métodos para localizar las estaciones se basan en la premisa de que el objetivo puede ser identificado plenamente con la escala de representatividad que se pretende alcanzar.

Los procedimientos de selección de los lugares en donde se deben instalar las estaciones pueden ser desde muy simples a muy complejos, desde elaborar una cuadrícula del área a monitorear hasta utilizar modelos estadísticos complejos para encontrar el número y la distribución óptima, adecuando los resultados obtenidos a las múltiples restricciones existentes tales como la falta de seguridad, la existencia de instalaciones en los sitios seleccionados, fácil acceso y la disponibilidad de los recursos requeridos como luz, agua y otros.

Para la selección final se requiere realizar un análisis exhaustivo toda vez que se espera que una estación opere en forma consistente durante varios años, que representa un alto costo de inversión en instrumentación e instalaciones, y que la información generada puede ser de gran utilidad para el seguimiento y evaluación de los programas de control de los contaminantes atmosféricos. el proceso de selección de las estaciones también puede ser dinámico y si la selección inicial no resulta la óptima es previsible buscar la optimización de la misma.

1.1 Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica entendida como la alteración de la calidad natural del aire el cual en condiciones normales tiene la siguiente composición sera:

Componentes	fracción mol
Nitrógeno	0.780400
Oxígeno	0.209400
Argón	0.009300
Dióxido de carbono	0.000315
Neón	0.000018
Helio	0.0000052
Metano	0.0000012
Kriptón	0.0000010
Oxido nitroso	0.00000008

La contaminación del aire se puede dividir en: natural y artificial, entendiendo la primera como aquella producida por la naturaleza, como sería el caso de las explosiones volcánicas, los incendios naturales, las tolveneras, olores de gases originados en pantanos, sal en brisa marina y otros, y la segunda como aquella producida por el hombre en sus diferentes actividades.

La contaminación artificial o antropogénica proviene de diversas fuentes, siendo las más importantes por su magnitud, las siguientes:

1. Contaminación de origen industrial o fuentes fijas:
plantas de energía, actividades industriales, sistemas de calefacción, incineración de residuos sólidos y otros.
2. Contaminación de origen vehicular o fuentes móviles:
automoviles, autobuses, aviones, ferrocarriles, barcos Etc.
3. Fuentes de área:
concentración de diversas fuentes móviles o fijas en áreas delimitadas, como sería el caso de autopistas (fuentes de línea), complejos industriales, grandes estacionamientos Etc.
4. Fuentes naturales:
pantanos, zonas erosionadas, volcanes, fuegos, sal marina y otros.

Los contaminantes pueden ser clasificados como primarios y secundarios, siendo los primeros aquellos que permanecen en la atmósfera de la misma manera en que fueron emitidos por la fuente, y los secundarios aquellos que son generados a partir de reacciones en la atmósfera de los primarios que pueden ser fotoquímicas, entre radicales libres, de oxido-reducción, de polimerización y de condensación catalítica entre otras.

Aun cuando se han identificado más de 100 contaminantes en la atmósfera, con más de 20 elementos metálicos en la fracción inorgánica y un gran número de hidrocarburos, ácidos, bases y otra clase de compuestos en la fracción orgánica, se consideran como contaminantes indicadores de la contaminación atmosférica sólo a los más abundantes para los cuales inclusive se han establecido normas de calidad, estableciendo como primarios a los siguientes:

CONTAMINANTES PRIMARIOS

Oxidos de azufre	SOx	dióxido y trióxido de azufre (SO2 y SO3)
Monóxido de carbono	CO	
Oxidos de nitrógeno	NOx	Monóxido y dióxido de nitrógeno (NO y NO2)
Hidrocarburos	HC	
Partículas		partículas suspendidas totales y fracción respirable (sólidas y líquidas)

1.2 Contaminación de origen industrial

Existen una gran cantidad de contaminantes que se emiten diariamente a la atmósfera por vehículos automotores, fábricas, plantas de energía, sistemas de calefacción, plantas de incineración de residuos sólidos y otros. Estos contaminantes pueden clasificarse en términos generales como: gases inorgánicos (SO2, CO, NOx y otros), gases orgánicos (hidrocarburos volátiles) y partículas.

Las partículas se pueden definir como un elemento discreto de un material, independientemente de su tamaño, o bien como una pequeña parte de una sustancia sólida o líquida (ISO, 13). En México existe desde 1972 un reglamento para la prevención y control de la contaminación atmosférica originada por la emisión de humos y polvos, el cual define a los humos como aquellas partículas resultantes de una combustión incompleta, componiéndose en su mayoría de carbón, cenizas y otros materiales combustibles que son visibles en la atmósfera y las partículas similares resultantes de la sublimación de los metales, por otra parte define a el polvo, como partículas pequeñas emitidas a la atmósfera por elementos naturales o por procesos mecánicos, tales como molinos perforadoras, transporte de tierra, demoliciones y otros.

Con respecto a los gases y vapores, éstos se definen como todo aquel material en estado gaseoso, diferenciándose en que los vapores se condensan a temperatura ambiente y presión atmosférica, mientras que los gases no. En general la clasificación más común es de gases inorgánicos y vapores orgánicos.

Los gases inorgánicos significativos como contaminantes atmosféricos son:

- óxidos de azufre
- ácido sulfhídrico
- óxidos de nitrógeno
- ácido clorhídrico
- monóxido de carbono
- amoníaco
- ácido fluorhídrico
- otros

y los vapores inorgánicos más importantes como contaminantes son:

- Hidrocarburos
- Mercaptanos
- Alcoholes
- Cetonas
- Esteres

Las partículas se componen de sólidos y líquidos dispersos en el aire y pueden ser de la siguiente naturaleza:

Material orgánico: polen, heces fecales, restos de vegetales, material biogénico (bacterias) y otros.

Material inorgánico: compuestos de azufre, compuestos de nitrógeno, óxidos metálicos, sales y otros.

Su composición varía de acuerdo con la fuente, el área geográfica y la estación del año entre otros factores. En la atmósfera de las ciudades una composición típica podría ser: 45% sílice; 13% Fe_2O_3 ; 6% Al_2O_3 , 24% carbono; 1% cal, 1% sulfatos alcalinos y 3% caliza y el resto mezclas de vanadio, magnesio, carbonatos, cloruros alcalinos, titanio, zinc, sulfatos de metales ligeros y pesados y sustancias orgánicas y fibras, como una primera aproximación partículas mayores de 10 micrómetros de diámetro ($1/10000$ cm) consisten principalmente de polvo, partículas gruesas, cenizas de procesos industriales y procesos erosivos y tienden a asentarse por gravedad rápidamente, partículas menores de 10 micras y mayores de 1 micra permanecen suspendidas en el aire y consisten generalmente de humos y polvos finos, y finalmente, partículas menores de 1 micra se conocen como aerosoles.

Los aerosoles son partículas coloidales en suspensión, con un diámetro mayor que el tamaño de una molécula sin ser lo suficientemente grandes para asentarse por gravedad, los aerosoles tienden a permanecer largo tiempo en la atmósfera y son formados por alguno de los siguientes tres métodos: 1) emitidos como aerosol; 2) generados como resultado de rompimiento de grandes partículas (aerosoles por dispersión) y 3) formados por condensación de nucleación.

Los aerosoles reaccionan tanto a la luz como al calor y generalmente poseen carga eléctrica y al igual que las partículas suspendidas tienen una vida media en ese estado de segundos a varios meses y aun cuando pueden consistir de una gran variedad de sustancias, con propiedades variables, tienen tres muy importantes: propiedades de superficie; propiedades de movimiento y propiedades ópticas.

Con respecto a las primeras, la más importante es la capacidad de adsorción, ya que la partícula adsorbe gases o puede funcionar como soporte ó catalizador de compuestos químicos. Con respecto a las propiedades de movimiento, las partículas con diámetros menores de 1 micra tienden a difundirse con movimiento browniano y las partículas con diámetro mayor a 1 micra tienden a sedimentarse, incrementándose esta propiedad a medida que aumenta el diámetro. Con respecto a las propiedades ópticas, las partículas menores de 0.1 micras de diámetro dispersan y absorben la luz, reduciendo la visibilidad y modificando el clima. como se observa en la siguiente tabla:

DIÁMETRO (micras)	EFFECTOS
0.1	máxima nucleación en nubes con efectos posibles en cambio de clima.
0.4 - 0.8	máxima dispersión de la luz y restricción de la visibilidad (diámetros con longitud de onda iguales a la de la luz visible.
0.5 - 2.0 10.0	maxima deposición en los pulmones tendencia a sedimentación por gravedad.

Como fuentes más importantes de los gases y vapores se pueden mencionar las siguientes:

FUENTE	CONTAMINANTES
Procesos de combustión	NOx, SOx, CO, CO2, ácidos orgánicos
Fuentes móviles	NO2, CO, ácidos orgánicos, hidrocarburos
Industria petrolera	SO2, H2S, NH3, CO, NO2, hidrocarburos mercaptanos
Industria química	SO2, CO, NH3, ácidos, NO2, sustancias orgánicas, solventes, olores, sulfatos
Procesos metalúrgicos	SO2, CO, fluoruros, sustancias orgánicas
Procesamiento de minerales	SO2, CO, fluoruros, sustancias orgánicas
Industria alimenticia y procesadora de alimentos	sustancias odoríferas

Las partículas por su parte se generan por una gran variedad de mecanismos físicos y químicos y son emitidas por fuentes las cuales se clasifican como:

- a). Procesos de combustión
- b). Procesos industriales
- y c). Emisiones fugitivas (no emitidas por ductos ó chimeneas)

a) Combustión de fuentes estacionarias

Plantas de energía
Calderas industriales
Sistemas de calefacción domésticos, comerciales e institucionales

b) Procesos industriales

Plantas petroquímicas y de refinación del petróleo.
Fundición de metales
Productos minerales
Procesos industriales misceláneos

c) Emisiones fugitivas

Emisiones relevantes en estas fuentes son aquellas que no se emiten a través de una chimenea o ductos, sino que son elevadas del suelo por el viento, como sería el caso de sitios de construcción, caminos en pavimentación o actividades mineras, o bien que salen a través de ventanas, puertas, venteos y fugas en equipos, ductos, bandas de transporte de materiales en operaciones industriales.

En Estados Unidos de Norteamérica (5), se ha reportado que del 35% al 50% de las emisiones antropogénicas provienen de las fuentes de combustión estacionarias, las cuales emiten cenizas volátiles, hollín y óxidos de azufre en forma de aerosoles (sulfatos), consistiendo las cenizas volátiles de óxidos inorgánicos, sales y trazas de metales, el hollín por su parte consiste de hidrocarburos no quemados, y compuestos orgánicos aromáticos policíclicos, formados en condiciones de deficiencia de oxígeno y bajas temperaturas y los óxidos de azufre emitidos originalmente en forma gaseosa se condensan y forman aerosoles por lo cual se clasifica también como un contaminante secundario.

Las partículas provenientes de procesos industriales, son responsables del 40% al 50% de las emisiones antropogénicas y son formadas fundamentalmente a través de los siguientes mecanismos: molienda, impactación, rompimiento de líquidos, condensación y reacciones químicas. Las emisiones provenientes de procesos industriales se caracterizan por poseer una gran variedad de diámetros y composición química, así por ejemplo procesos de fundición y metalurgia producen humos metálicos condensados en el rango submicrónico, la industria textil, petroquímica y de refinación del petróleo producen partículas de carbón y compuestos orgánicos condensables tales como el alquitran.

Industrias relacionadas con la molienda (rocas, harinas, arenas, Etc.) producen partículas grandes, la industria del cemento, asfalto, celulosa y cal, producen partículas en el rango de submicrones y fuentes tales como plantas de pirolisis, vaporización de lubricantes o aceites de proceso y operaciones metalúrgicas, es decir que operan a altas temperaturas y utilizan compuestos volátiles, producen aerosoles en el rango submicrónico como resultado de la condensación de sólidos o líquidos evaporados.

La siguiente tabla muestra las industrias más significativas con emisiones fugitivas:

Industria alimenticia y agrícola.

- Deshidratadoras de alfalfa
- Despepitadoras de algodón
- Terminales de granos
- Procesadoras de granos

Industria metalúrgica

- Metalurgia del coque
- Fundición de cobre primario
- Ferroaleaciones
- Hierro y acero
- Fundición primaria y secundaria de plomo, aluminio, zinc y bronce
- Hornos de cubilote de hierro gris
- Hornos de acero

Industria de productos minerales

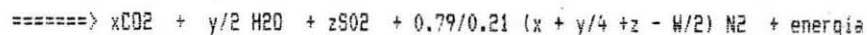
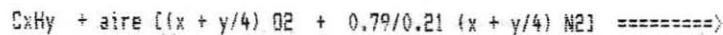
- Producción de concreto y asfalto
- Ladrilleras
- Industria de refractarios
- Plantas de cemento
- Industria de la cerámica y arcillas
- Industria del vidrio
- Industria calera
- Roca fosfórica
- Arenas y gravas
- Tierras diatomáceas
- Industria del carbón

Industria de productos forestales,
 Aserraderos
 Madererías
 Fabricación de muebles

1.3. CONTAMINACIÓN DE ORIGEN VEHICULAR

Las emisiones más importantes provenientes de fuentes móviles son aquellas generadas en los vehículos automotores de gasolina y diesel, aun cuando las aeronaves también contribuyen de una manera significativa en las grandes ciudades.

Los contaminantes son generados a través de los procesos de combustión interna en los motores de las fuentes, los cuales en condiciones ideales solo emiten a la atmósfera dióxido de carbono y vapor de agua (no son considerados contaminantes en las atmósferas urbanas) de acuerdo con la siguiente ecuación:



Este proceso raramente es completo dado que el motor de gasolina ó diesel es una máquina térmica de combustión interna que alcanza eficiencias bajas en el proceso de combustión, por lo que este nunca es completo generando emisiones de:

monóxido de carbono (CO)
 hidrocarburos no quemados (HC)
 óxidos de nitrógeno (NOx)
 otros (partículas, óxidos de azufre y plomo)

En el caso de los motores de gasolina además de las emisiones en el escape provenientes del proceso de combustión existen otras emisiones producidas por evaporación del combustible (hidrocarburos) en el carburador, el carter y el tanque de combustible.

Si el combustible contiene impurezas como pequeñas cantidades de azufre en el caso del diesel ó sustancias antidetonantes para elevar el octanaje como el tetraetilo de plomo en las gasolinas, también estarán presentes en las emisiones del escape óxidos de azufre (SOx) y óxidos de plomo (PbO) respectivamente:

La formación del monóxido de carbono en el proceso de combustión se debe a:

1. Una insuficiencia del oxígeno, es decir a una relación aire/ combustible pobre ó mezclas ricas en combustible, favoreciendo la siguiente reacción:



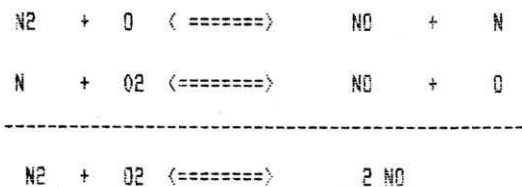
2. Altas temperaturas al principio del proceso de combustión, persistiendo en pequeñas cantidades aun cuando al expandirse y enfriarse se favorezca la oxidación de CO a CO₂, en motores diesel el enfriamiento es menos severo, por lo que las emisiones de monóxido de carbono son menores

Los hidrocarburos por su parte se forman por la existencia de mezclas heterogeneas o variaciones en la temperatura durante el proceso de combustión produciendo hidrocarburos no quemados por inhibición en la ignición de los mismos, lo cual se puede producir al menos en las siguientes condiciones:

1. La composición de la mezcla es muy rica o muy pobre de tal manera que las reacciones de oxidación son muy lentas y no se produce la ignición por pérdidas de calor.
2. Para algunos elementos muy pequeños aislados de la mezcla la relación superficie a volumen en la máquina puede ser muy grande con pérdidas de calor considerables inhibiendo la ignición.
3. Pérdidas de calor de la mezcla aire/combustible adyacentes a superficies frías pueden ser tan grandes que no ocurre la ignición (quenching), siendo el espesor de esta capa de enfriamiento función de la relación aire/combustible y de la presión fundamentalmente.

Con respecto a los óxidos de nitrógeno, estos son especies químicas que requieren altas entalpiza para formarse con relación al N_2 y O_2 , por lo que su presencia es favorecida por la existencia de altas temperaturas, las cuales se alcanzan cuando la eficiencia del proceso de combustión es máxima, es decir cuando las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos tienden a ser menores.

La máxima formación de los óxidos de nitrógeno coinciden con la temperatura máxima alcanzada en la combustión dado que se requiere gran cantidad de energía para romper la molécula de nitrógeno y oxígeno (225 y 118 Kcal/ mol respectivamente) para que puedan participar en la siguientes reacciones:



La temperatura máxima depende de varios factores, tales como la composición de la mezcla de aire/combustible, la cantidad de inertes presentes, la composición del combustible y la temperatura inicial de la mezcla.

Finalmente las partículas que se generan en los procesos de combustión interna se encuentran en el rango de 0.02 a 10 μ de diámetro, siendo la composición de las mismas compuestos de plomo, y partículas carbonosas.

Las partículas pueden ser formadas en la superficie de un sólido o en la fase gaseosa y pueden ser líquidas o sólidas, siendo las primeras formadas en motores diesel, en turbinas y maquinas Stirling, consistiendo básicamente cuando hidrocarburos parcialmente oxidados o desintegrados térmicamente se condensan.

Las partículas sólidas consisten de aglomeración de moléculas de hidrocarburos con relaciones carbono/hidrógeno mayores que las del combustible original y moléculas de carbón formadas a través de un proceso de dehidrogenización de los hidrocarburos, polimerización de los mismos para formar moléculas de mayor peso molecular y finalmente aglomeración con una molécula de carbón para formar una partícula sólida.

1.4. CONTAMINACIÓN DE ORIGEN NATURAL

Existen diversas fuentes contaminantes presentes en la naturaleza tales como la brisa marina, las emanaciones de hidrocarburos provenientes de pantanos, las explosiones volcánicas, los fuegos forestales y otros, sin embargo la contaminación que afecta las áreas urbanas y que puede ser clasificada como "natural" tiene su origen en actividades humanas que provocan lo siguiente:

- a) superficies secas erosionadas debido a talas excesivas que conducen a desertificación o por explotación inadecuada de bosques y minas de arena sin proteger la cubierta del suelo
- b) quemas agrícolas por prácticas de agricultura inadecuadas.
- c) otros.

Se estima que hasta el 15% del total del polvo sedimentable y hasta el 25% de las partículas en suspensión son de origen natural, siendo las fuentes más importantes, desechos de suelo y rocas, fuegos forestales, volcanes y sales del océano.

1.5 EFECTOS

Desde el punto de vista de la contaminación atmosférica por partículas existen, los siguientes efectos, listados por orden de prioridad de menos a más:

1. MOLESTIAS E INSULTOS ESTÉTICOS

Concentraciones de $70-200 \text{ g/m}^3$, han sido reportadas como molestas para la población, ensuciando ropa, reduciendo visibilidad, degradando el paisaje, produciendo malos olores (adsorción de gases) y en general afectando el bienestar de la población objetiva y subjetivamente en su escala de valores. Presentándose estos efectos en rangos de horas a días, a nivel local, existiendo tecnología disponible para controlar estos efectos a costos moderados y sin repercusiones políticas relevantes si fuera implementada.

2. DAÑOS A LA PROPIEDAD

Las partículas dañan las propiedades a través del ensuciamiento, la corrosión de los mismos al transportar gases corrosivos y dañar metales o bien debido a propiedades abrasivas de las mismas partículas.

Se ha reportado que concentraciones de $60-120 \text{ g/m}^3$, tienen efectos significativos sobre los materiales, estos efectos ocurren en periodos de horas a días, a nivel local y regional y existe tecnología disponible con un costo moderado y que su aplicación no tendría efectos políticos relevantes.

3. DAÑOS A PLANTAS Y ANIMALES

Existen diversos efectos sobre la exposición de partículas a plantas y animales, en el caso de las primeras, los más relevantes son la deposición de las partículas sobre las estomas, tapando las mismas e interrumpiendo el proceso de respiración y el de fotosíntesis y retardando el crecimiento. Además si las partículas adsorben gases corrosivos, pueden crear daños tisulares a las plantas, existen pocos datos sobre concentraciones de partículas y sus efectos, sin embargo se sabe que a concentraciones mayores de 2 g/m^3 de fluoruros en forma de partículas empiezan a aparecer efectos en las plantas.

Con respecto a los animales, existen muchos efectos que se presentan desde daños al sistema respiratorio, hasta envenenamiento de ganado, por ingestión de contaminantes específicos, como es el caso de fluoruros y arsénico, que se produce al depositarse estos sobre el forraje.

En el caso de plantas y animales, los efectos se pueden presentar de tiempos que van de horas (agudos) a meses (crónicos), en escalas locales y regionales, al ser las partículas aerotransportadas. La tecnología disponible para sus control tiene un costo moderado, con dificultades para su implementación por la dispersión de los receptores y el gran número de partes involucradas.

4. DAÑOS A LA SALUD HUMANA

Aun cuando nadie muere oficialmente de contaminación de aire, esta es un factor que agrava y desencadena, enfermedades que pueden conducir a la muerte, especialmente de grupos de alto riesgo, tales como la población infantil, de avanzada edad y de algunos que padezcan enfermedades como el asma y algunas alergias.

Debido a que las partículas tienen diversos tamaños de diámetro, estas se pueden depositar en las diferentes partes del sistema respiratorio: la región de la cabeza: nariz, boca, faringe y laringe; la región traqueobronquial que comprende los conductos que van de la laringe a los bronquiolos terminales, incluyendo la traquea y los bronquios y finalmente la región alveolar que se compone de los ductos alveolares, los sacos alveolares y el alveolo y que es donde se lleva a cabo el intercambio de oxígeno/dióxido de carbono con el torrente sanguíneo.

Existen en el sistema respiratorio diversos mecanismos de defensa para evitarse la penetración de partículas, los cuales van desde el estornudo, la barrera de los vellos en la nariz (cilios) y la secreción mucociliar. Así en la nariz el 95% de las partículas mayores de 4 micras de diámetro son removidas con el vello, permitiendo pasar todas aquellas menores de 1.2 micras, parte de las que pasan son removidas en la traquea en donde existen cilios (pelo) los cuales se mueven hacia arriba continuamente en un movimiento de tipo peristáltico a una velocidad de 3 a 4 cm/seg, y que al atrapar partículas ya sea por ellos mismos o en combinación de absorción en la mucosa que generan las membranas, las conducen hacia la parte superior en donde se pueden remover por estornudos, tragandolas o bien sonándose la nariz. Los bronquios también tienen cilios, con un movimiento de 0.15 cm/seg, con la misma función.

Las partículas restantes que no son removidas por los mecanismos descritos, se depositan en las paredes del sistema respiratorio, a través de impactación, intercepción, sedimentación, precipitación electrostática o movimiento browniano, actuando los tres primeros para partículas mayores de 2 micras y el último para aquellas en el rango submicrónico.

El sistema respiratorio procesa para un adulto normal a nivel del mar entre 10 a 20 m³ de aire al día y el área de intercambio de gases es de aproximadamente 30 m², desarrollándose en cerca de 2000 km. de capilares, esta tasa de respiración puede ser modificada en función de la actividad que desarrolle el individuo, la presión existente, la temperatura ambiente y las condiciones de humedad entre otros factores físicos, por la actividad del individuo e incluso por factores conductuales, culturales, socioeconómicos, genéticos y otros. Finalmente los niveles a los cuales se expone el receptor; la duración de la exposición; la presencia de otros contaminantes que tengan efectos sinérgicos (potenciación), antagónicos o aditivos y las condiciones ambientales (inversiones térmicas, vientos en calma y condiciones topográficas adversas) tienen un gran papel en la presencia de efectos adversos en la salud humana.

Los efectos en la salud causados por partículas básicamente se pueden clasificar como:

1. Respuestas irritantes

Estas se presenta como una inflamación de los tejidos generalizada y no específica y como destrucción del área de contacto con el contaminante. Exposiciones agudas del tracto respiratorio se manifiestan como:

a. rinitis, faringitis y laringitis en el tracto respiratorio superior

b. bronquitis y bronconeumonía en el árbol bronquial

y c. edema y neumonía en la región alveolar

Exposiciones a largo plazo se pueden manifestar como enfisema pulmonar en la región alveolar, en inflamación crónica y en broncoconstricción con cambios en la función respiratoria.

2. Respuesta fibrótica

Esta se manifiesta como formación de cicatrices en los intersticios de los tejidos conectivos y las enfermedades que producen se denominan en términos generales neumoconiosis, las cuales pueden ser nodulares (silicosis); difusas (asbestosis) o de radiología alterada (siderosis).

3. Respuesta alérgica

Esta se manifiesta a través de la sensibilización a una exposición, con la formación de un anticuerpo inducido, que en exposiciones subsecuentes, produce una respuesta inmune o una reacción antígeno-anticuerpo, la cual puede ocurrir inmediatamente a la exposición o como una respuesta retardada, los efectos más notorios son: asma bronquial en el tracto respiratorio superior y pneumonitis (inflamación del pulmón) en la región alveolar.

4. Respuesta mutagénica, teratogénica y carcinogénica

Esta se manifiesta como mutaciones o cambios en el material genético, algunos contaminantes en forma de partícula de los cuales se sospecha que tienen estos tipos de efectos son: arsenatos de sodio; sulfatos de cadmio; sales de plomo; alquitrán; cromatos y asbestos.

Es importante resaltar que los contaminantes pueden sufrir biotransformaciones dentro del cuerpo humano, que los pueden conducir a otros órganos diferentes del sistema respiratorio y generar en consecuencia respuestas sistémicas como sería el caso del arsénico que puede pasar al sistema hematopoiético, el tracto gastrointestinal, el hígado, el riñón, el sistema endócrino y el sistema nervioso central y periférico.

Los efectos anteriores se presentan desde concentraciones de 80 g/m^3 en grupos de alto riesgo (personas mayores de 50 años) hasta concentraciones mayores de 750 g/m^3 en donde se presentan "excesos de muertes" en la población generalizada.

En el caso de las partículas, los efectos se presentan en el transcurso de horas a días en escalas locales y regionales y existe tecnología disponible para su control, con un costo moderado comparado con el costo del control de otros contaminantes y la implementación de este tipo de programas en general tienen pocas dificultades y repercusiones políticas.

Por su parte los efectos los gases desde el punto de vista de la salud se pueden clasificar como:

- 1) Asfixiantes
- 2) Irritantes
- y 3) Asfixiantes irritantes

Los asfixiantes provocan una pérdida de oxígeno a nivel celular que puede ser producida por :

- 1) Apnea o interrupciones de la respiración
- 2) disminución de la presión parcial del oxígeno inhalado por efecto de dilución de gases nobles (He, Ar, Xe, Kr), elementos no metabolizables (N₂, H₂), compuestos no reactivos (hidrocarburos ligeros, CF₄, SF₆, N₂O y otros) y el caso especial del dióxido de carbono.
- 3) Interferencia química con el transporte del oxígeno por la sangre (hemólisis, formación de carboxihemoglobina ó methemoglobina)
- y: 4) Interferencia química con el sistema enzimático en las células que utilizan oxígeno (cianuros, nitrilos)

Los gases irritantes se clasifican de acuerdo con la zona que afectan como:

- 1) Irritantes del tracto respiratorio superior (garganta y bronquios) gases caracterizados por su gran solubilidad con acción básicamente sobre la membrana mucosa y generalmente muy tóxicos tales como amoníaco, ácidos halogenados (HF, HCl, HBr, HI) y óxidos de azufre (SO₂, SO₃)
- 2) Irritantes del tracto respiratorio inferior, generalmente gases de baja solubilidad que requieren ser hidrolizados para actuar y que tiene efectos retrasados en su acción irritante sobre los tejidos. gases de este tipo son los óxidos de nitrógeno, el fosgeno (COCl₂) y el bromuro de carbonilo COBr₂ y los vapores de mercurio.
- 3) Irritantes de todo el tracto respiratorio, generalmente gases de solubilidad intermedia, tales como los halógenos (F₂, Cl₂, Br₂, I₂) EL OZONO O₃, estos gases en bajas concentraciones irritan ojos y tracto respiratorio superior, y en altas concentraciones tienden a irritar la parte profunda de los pulmones

Finalmente los gases irritantes-asfixiantes son aquellos como el germanio GeH₄, la arsina AsH₃, la estibina SbH₃, formados de los metales correspondientes, siendo irritantes de todo el tracto respiratorio capaces de acusar edema pulmonar o destrucción masiva de hemoglobina en la sangre (hemólisis) que puede desembocar en asfixia.

5. DAÑOS A LA GENÉTICA HUMANA O AL SISTEMA REPRODUCTIVO

Como se menciona en el punto anterior, existen este tipo de efectos en el caso de algunas sustancias químicas en forma de partículas, como es el caso de metales pesados como el arsénico, plomo, cadmio, cromo y otros como el asbesto.

6. DAÑOS A LOS ECOSISTEMAS

Los efectos más significativos en el caso de las partículas son el cambio de clima cerca del suelo, los cuales se traducen en: incrementos en la temperatura e incrementos en la carga de partículas en el suelo.

Partículas en la estratósfera modifican el balance de la energía que viene del sol, a través de la absorción y dispersión de la misma, especialmente de las radiaciones de ondas largas en forma directa y a través de la formación de nubes al condensarse partículas pequeñas en forma indirecta.

Lo anterior se traduce en que se reciba menor cantidad de luz y calor al nivel del suelo, se ha predicho que si se cuadruplicarán los niveles actuales de concentración de partículas, la temperatura global disminuiría $3,5^{\circ}\text{C}$ en un periodo de 50 a 100 años, se ha reportado que a concentraciones de 100 a 150 g/m^3 , la radiación solar directa se puede reducir de 1/3 a 2/3 en áreas de alta y media latitud.

Este efecto se presenta a escalas regionales y globales en periodos de tiempo que involucran años y existe muy poca tecnología disponible a un costo muy alto y con pocas posibilidades de desarrollar programas de control debido a que se requieren esfuerzos de múltiples instituciones y países, por su carácter global.

2. Problemática de la Contaminación Atmosférica en las Zonas Urbanas

El problema de la contaminación atmosférica en las zonas urbanas está íntimamente relacionado con las concentraciones de población, industria y vehículos en las mismas, con el consiguiente consumo de recursos de todo tipo para satisfacer las necesidades que estas generan. El consumo de combustibles para el transporte de la población y materiales, así como para la combustión industrial, representa en términos globales más del 90% de las emisiones a la atmósfera, compuesta de monóxidos de carbono, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno, a lo cual habría que añadir la emisión de humos y polvos provenientes de la industria, emisiones de hidrocarburos volátiles originadas por el manejo inadecuado de combustibles y solventes y emisiones provenientes de fuentes naturales, tales como zonas erosionadas, brisa marina y otras.

Hasta años recientes, en el país, la contaminación era un problema exclusivo de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey, sin embargo a medida que el País se ha industrializado ciudades como Tijuana, León, Toluca, Ciudad Juárez, Puebla, Salamanca, Coatzacoalcos-Minatitlán, Tula, Saltillo, Lázaro Cárdenas y algunas áreas del sureste presentan en este momento niveles de contaminación atmosférica críticos para la salud y los ecosistemas.

En algunas de las áreas descritas se han realizado programas de monitoreo de los contaminantes, así desde la década de los cincuentas se inició el monitoreo a través de redes manuales en la ciudad de México y posteriormente se instalaron este tipo de redes en las ciudades de Guadalajara y Monterrey operando estas tres redes en forma continua, midiendo las concentraciones de óxidos de azufre y partículas así como algunos parámetros meteorológicos, cabe mencionar que también se han instalado redes manuales de monitoreo en Tijuana, Ciudad Juárez, Cuernavaca, Tula, Monclova, Querétaro, Saltillo y Chihuahua, adicionalmente, en la ciudad de México se han instalado dos redes automáticas durante los periodos de 1976-1980 y de 1986 a la fecha, la primera consistió en un sistema de 15 estaciones cubriendo el área de la ciudad de México fundamentalmente y la segunda esta compuesta de 25 estaciones que cubren el área metropolitana, estas redes evalúan los niveles de los siguientes contaminantes: óxidos de azufre, monóxido de carbono, partículas, ozono y óxidos de nitrógeno en su configuración básica y adicionalmente la red actual mide hidrocarburos no metánicos y ácido sulfhídrico, así como algunos parámetros meteorológicos.

Los niveles de contaminación encontrados por las redes manuales en las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey se resumen en las siguientes tablas:

Área Metropolitana de la Ciudad de México

Partículas suspendidas totales (ug/m3)

Sector	1979	1980	1981	1982
Centro	188-302	167-299	178-315	163-363
Noroeste	192-350	191-296	191-314	171-388
Noreste	185-455	235-356	305-482	286-598
Surcste	165-296	120-207	186-377	118-341
Sureste	235-418	134-425	125-224	202-468

Dióxido de Azufre (ug/m3)

Sector	1979	1980	1981	1982
Centro	54-126	65-128	113-174	45-174
Noroeste	43-141	68-95	71-171	33-247
Noreste	22-68	28-65	41-101	61-113
Suroeste	19-45	36-47	42-101	35-99
Sureste	19-29	14-37	35-64	32-68

La red consta de 20 estaciones y los valores reportados representan el rango encontrado

Área Metropolitana de la Ciudad de Guadalajara
(1980)

Partículas Suspendidas Totales

Estación	Rango	Promedio
1	103-502	204
2	4-352	112
3	41-290	134
4	50-385	168
5	91-1115	436
6	43-592	207
7	16-288	111
8	6-639	165
9	25-369	155
10	44-390	165

Área Metropolitana de la Ciudad de Monterrey

Estación	Rango	Promedio
1	26-315	149
2	57-304	182
3	209-985	522
4	98-345	221
5	112-434	290
6	49-251	140
7	96-296	213
8	86-355	197

3. Sistemas de Monitoreo Automáticos

Aún cuando el monitoreo de contaminantes atmosféricos puede realizarse tanto por métodos manuales como automáticos, las características de los segundos hacen que se prefieran los métodos automáticos, toda vez que pueden presentar los resultados en tiempo real, lo que permite tomar decisiones oportunamente si existen condiciones adversas para la salud de la población o condiciones de riesgo para los ecosistemas, además permiten realizar mapeo de la distribución de los contaminantes, con las consiguientes ventajas que esto implica para la toma de decisiones, así como observar las tendencias de los contaminantes tanto a corto, como a largo plazo.

Otras características relevantes de los sistemas automáticos son: la rapidez de respuesta ante las condiciones cambiantes y la selectividad de los métodos, lo que hace que no se requiera de pretratamiento previo condición que no se puede realizar, por limitaciones de tiempo para hacerlo. cabe mencionar que algunos sistemas tienen componentes que eliminan las interferencias a través de filtros y lavadores o adsorbedores. otras ventajas que tienen los sistemas automáticos es la sensibilidad lo que permite detectar concentraciones muy bajas, y que en la mayoría de los sistemas desarrollados pueden operar sin agentes químicos, lo que representa una gran ventaja ya que se eliminan las necesidades de preservación de reactivos y almacenamiento de los mismos.

Finalmente el costo de los sistemas automáticos es significativamente inferior a los manuales, representando un costo por análisis del orden del 10 al 25% comparado con un sistema manual, dado que no requiere tanta mano de obra como los sistemas manuales, sin embargo se requiere una gran inversión inicial tanto en instrumentación como en instalaciones y sistemas de transmisión y procesamiento de datos.

3.1. Métodos Disponibles

Métodos de Análisis Automático de Contaminantes Atmosféricos

Dioxido de Azufre

Método	Principio	Sensibilidad	Tiempo de Respuesta	Interferencia	Pretrata- miento posible	Ventajas	Desventajas
coulometria	oxidación de so ₂ por bromo con liberación de corriente	3 ppb	1 min	sustancias oxidantes (no ₂ , o ₃)	filtro se- lectivo		la celda se seca en altas temperaturas, sensible al
bajas	detectada por una celda						flujo
fotometria de flama	emisión de luz azul en una fla- ma de hidrógeno	5 ppb	30 seg	radiación de fondo			alto consumo de hidrógeno reactivo, sen- sible al flujo
espectroscopía							
a) directa	absorción de luz ultravioleta en las bandas (200- 235 nm)	10 ppb	10 segs	partículas	filtra- ción	facilidad del método	baja selectividad

Método	Principio	Sensibilidad	Tiempo de Respuesta	Interferencia	Pretratamiento Posible	Ventajas	Desventajas
b) dos bandas en la región ultravioleta	absorción en las bandas 285 y 287 nm con lámparas magnesio y galio	10 ppb	10 segs	ninguna	ninguna		costo
c) correlación							
filtro con gas de so ₂ en ultravioleta	determinación de la absorción por diferencia entre una celda con so ₂ puro y una celda con la muestra	4 ppb	10 segs	vapor de agua y dióxido de carbono	filtración		alto costo
enmascaramiento	coincidencia entre la banda espectral de la muestra y una banda previamente registrada	10 ppb	10 segs	ninguna		alta especificidad	alto costo
segunda derivada.	registro de la segunda derivada armónica de una serie de Taylor, al hacer la banda espectral función del tiempo con una rejilla vibrante.	4 ppb	segs				alto costo
fluorescencia pulsada	irradiación fluorescente con luz ultravioleta	5 ppb	1 min	hidrocarburos vapor de agua		operación lineal no requiere gas	

Ozono

Método	Principio	Sensibilidad	Tiempo de Respuesta	Interferencia	Pretrata- miento posible	Ventajas	Desventajas
quimicolumi- niscencia	reacción con etileno o roda- mina b con emi- sión de radia- ción ultraviole- ta visible o in- fraroja.	1 pph (etileno) 0.1 ppb (rodamina b)	0.1 seg	ninguna	eliminación de vapor de agua	reacción especifi- ca	consumo alto de gas reac- tivo, calibra- ción frecuen- te, sensible al flujo

espectroscopia

ultravio- leta	absorción de luz ultravioleta	3 ppb	10 seg	partículas vapor de mercurio	filtración		interferen- cias a muy bajas concen- traciones
segunda de- rivada registro de la segunda derivada armónica de la banda espectral	absorción en in- frarojo (9,4 μ m)	10 ppb	10 seg	dioxido de azufre	filtración		no recomenda- dable en ciu- dades con al- ta contamina- ción por SO_2

Oxidos de Nitrógeno

Método	Principio	Sensibilidad	Tiempo de respuesta	Interferencia	Pretrata- miento Posible	Ventajas	Desventajas
quimicolumi- niscencia.	emisión de e- nergía radian- te (600-1200nm) por reacción de óxidos de ni- y ozono registrada por un fotomultipli- cador	2 ppb	segs	radiaciones de onda corta, me- tanos a 600 nm hidrocarburos insaturados, a- cido sulfhídri- co y mercapta- nos	filtros ópticos filtra- ción	bajo costo alta espe- cificidad si se eli- minan in- terferen- cias	almacenamien- to de gas reactivo si no existe ozonizador sensible al flujo

Método	Principio	Sensibilidad	Tiempo de Respuesta	Interferencia	Pretrata- miento Posible	Ventajas	Desventajas
espectroscopia							
directa	absorción en infrarojo	3 ppb	mins				poco desarrollo comercial
correlación por enmascaramiento	coincidencia con una banda preregistrada a (5.3 y 6.2 nm)	1 ppm	mins				poco desarrollo comercial
segunda derivada	absorción en las bandas (200-230, 400-460), registro de la segunda derivada armónica	3 ppb	mins				poco desarrollo comercial
fotodisociación	disociación de los óxidos de nitrógeno con luz ultravioleta (300-400 nm)	1 ppb 0.5 ppb	mins	hidrocarburos, oxígeno atómico	filtración		poco desarrollo comercial calibración continua. sensible al

Monóxido de Carbono

Método	Principio	Sensibilidad	Tiempo de respuesta	Interferencia	Pretrata- miento Posible	Ventajas	Desventajas
espectroscopia no dispersiva por correlación	absorción en infrarojo (4.6 nm)	0.2 ppm	segs	vapor de agua, dióxido de carbono, metano	filtración	alta especificidad, no depende de sustancias químicas	muy sensible a la humedad

Método	Principio	Sensibilidad	Tiempo de Respuesta	Interferencia	Pretratamiento posible	Ventajas	Desventajas
amperimetría	reacción con pentóxido de iodo, liberación de iodo detectado en una celda electrolítica	0.1 ppm	3 min	vapor de agua etileno	filtración con bromo		sensible al flujo
ionización de flama	ionización con flama de hidrógeno con liberación de corriente proporcional a la concentración de CO_2	0.1 ppm	5 min	aire, dióxido de carbono, hidrocarburos, metano			almacenamiento de H_2 como reactivo, sensible al flujo
oxidación catalítica	oxidación de CO a CO_2 con hopcalite, con liberación de temperatura proporcional a la concentración de CO	1 ppm	1 min	vapor de agua	filtración mantenimiento de la temperatura en la columna	alta selectividad del catalizador, optimo con altas concentraciones	sensible a la humedad y al flujo

Partículas

Método	Principio	Sensibilidad	Tiempo de respuesta	Interferencia	Pretratamiento Posible	Ventajas	Desventajas
Atenuación con rayos beta	diferencia de intensidad al pasar rayos beta por la muestra, proporcional a la concentración masica	6 g/m ³	segs	cambios bruscos de temperatura, humedad, radioactividad natural, radiación de fondo	filtros ópticos filtración de humedad estabilización de la temperatura	facilidad del método, corrección con mediciones gravimétricas	sensible al flujo, alto costo

Método	Principio	Sensibilidad	Tiempo de Respuesta	Interferencia	Pretratamiento posible	Ventajas	Desventajas
Dispersión luminica	dispersión de la luz, registradas por un fotomultiplicador, relacionado con el número de partículas	hasta decenas de millones de partículas	segs	altas concentraciones	filtración	bajo costo	sensible al flujo

4. Metodologías para el Diseño de Redes

4.1 Descripción del sistema de monitoreo

desde un punto de vista sistémico, una red de monitoreo tiene los siguientes componentes:

- . un elemento sensible
- . un procesador
- . un transmisor

La función del elemento sensible es entrar en contacto con el ambiente para medir algunas propiedades del mismo.

En este caso la concentración de sustancias contaminantes en el aire, así como variables meteorológicas que inciden en el problema de la contaminación atmosférica.

el elemento procesador convierte las señales captadas en información a través de arreglos lógicos: clasificación, ordenación y creación de archivos y su combinación posterior con herramientas de análisis tales como: modelos, normas, indicadores e índices y otras, entendiendo la información descrita como un conjunto organizado de datos que permiten obtener conclusiones y tomar decisiones.

El elemento transmisor sirve como un canal de comunicación entre el elemento sensible, el procesador y el usuario, generalmente transmiten la información de cada estación remota que compone la red a una estación central de control en donde está el procesador, los sistemas de transmisión son: líneas telefónicas o telegráficas, enlace de radio y satélite o sensores remotos.

Metodologías para el Diseño de Redes de Monitoreo

Para determinar la configuración de un sistema de monitoreo se requiere básicamente determinar los objetivos del mismo, los cuales son identificados de acuerdo con la siguiente información:

- . inventario de emisiones en el área
- . contribución relativa de cada fuente individual
- . meteorología del área a diferentes niveles; macro, meso y microescala
- . meso y microtopografía
- . meso y microorografía, así como la configuración urbana
- . número y distribución de la población

4.2 Criterios para la Selección del Número de Estaciones

Aún cuando existen diversos procedimientos para la selección del número de estaciones que deben de componer una red de monitoreo, todas toman en cuenta los siguientes criterios:

- 1) Se recomienda instalar estaciones en las zonas representativas del área que se pretende monitorear, es decir instalar estaciones en el centro de las ciudades, en los sectores industriales, en las zonas de gran densidad de tráfico y en las zonas residenciales, así como contar con estaciones móviles para detectar episodios e investigar casos especiales

- 2) Se recomienda instalar el mayor número posible en cada zona con el objeto de caracterizar mejor la calidad del aire existente, estableciendo número en función de criterios económicos y de disponibilidad de recursos y factibilidad real.

El número final de estaciones seleccionado se elige en función de:

- a) La población que habite el área que se pretende vigilar
- b) La problemática existente en el área, así como la meteorología y
- c) Los recursos económicos, humanos y tecnológicos disponibles

De acuerdo con experiencias de la organización mundial de la salud, se recomienda lo siguiente en función de la población existente:

Promedio sugerido de estaciones para la vigilancia de las tendencias de la calidad del aire en zonas urbanas de poblaciones determinadas

Promedio de estaciones por contaminante

Población urbana (millones)	Partículas	Dioxido de azufre	Oxidos de nitrogeno	Oxidantes	Monoxido de carbono	Estaciones meteorológicas (dirección y velocidad del viento y gradientes térmicos)
menos de 1	2	2	1	1	1	1
1.0 - 4.0	5	5	2	2	2	2
4.0 - 8.0	8	8	4	3	4	2
mas de 8.0	10	10	5	4	5	3

Fuente: diseño de programas de vigilancia del aire para zonas urbanas e industriales, publicación científica no,371, Organización Panamericana de la Salud, Washington. E.U.A. 1978.

Modificandose estos valores con los siguientes criterios:

- . En ciudades con alta densidad industrial deben instalarse más estaciones para medir partículas y dióxido de azufre
- . En zonas en donde se utilicen combustibles pesados se deben incrementar las estaciones para dióxido de azufre.
- . En regiones con terreno accidentado puede ser necesario incrementar el número de estaciones.
- . En zonas con tráfico intenso se duplican las estaciones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y oxidantes

- . En ciudades con población mayor de 4 millones de habitantes con tráfico ligero se pueden reducir las estaciones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y oxidantes

Si se selecciona el número de estaciones con criterios diferentes de la población como es el caso de los criterios estadísticos y en función de la problemática, se utilizan las siguientes técnicas, las cuales requieren un conocimiento profundo de la micrometeorología, las emisiones, datos previos sobre la calidad del aire en la zona y otros.

1) Modelos Estadísticos

Esta técnica considera una red en una malla urbana con n estaciones de muestreo determinando n variables ambientales con el objeto de obtener una red óptima con n estaciones, en donde n es menor que n' , para tal efecto se usan modelos polinomiales con la siguiente forma:

$$z(x,y) = \sum \sum a_{\alpha\beta} (x,y) p(x,y, \alpha, \beta)$$

En donde x, y son coordenadas cartesianas, z representa el parámetro observado, a representa los coeficientes de la expansión polinomial y p representa términos de la forma $x^\alpha y^\beta$ en donde $(\alpha, \beta = 1, 2, 3, \dots, n)$

Los procedimientos estadísticos para determinar todos los coeficientes en el modelo polinomial son buscar todas las regresiones posibles, utilizando en particular las técnicas siguientes:

- . Selección prospectiva
- . Eliminación retrospectiva
- . Paso amplio (stepwise)
- . Correlación (máximo y mínimo r^2), en donde r es el coeficiente de correlación múltiple

Todas estas técnicas consisten en utilizar regresión múltiple con el objeto de predecir la calidad del aire como variable dependiente en función de los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos como variables independientes, seleccionando de esta manera los lugares óptimos para la ubicación de las estaciones y de la red en su conjunto, la diferencia en las técnicas descritas consiste en el orden en que se meten las variables independientes con la finalidad de alcanzar el máximo valor de r o bien r^2 . con el fin de optimizar el tratamiento estadístico, se utilizan combinaciones de las variables independientes para facilitar el análisis.

4.3 Criterios de Ubicación de las Estaciones

Con el objeto de que la información que se obtenga en las estaciones sea característica del área de estudio es importante que cumplan con los siguientes requisitos:

- . Ser representativas del área en donde se ubican
- . Proporcionar datos comparables con las otras estaciones de la red
- . Ser utilizables durante un período prolongado de tiempo

- . Ser accesibles permanentemente
- . Contar con energía eléctrica segura
- . Ser capaces de resistir condiciones extremas

Para que las estaciones sean representativas se recomienda lo siguiente:

- . Estar alejadas de las fuentes emisoras por lo menos a una distancia de 25 metros o bien una distancia cinco veces la altura de la chimenea de la fuente alejadas de superficies absorbentes como follaje y material que reaccione con los contaminantes, por lo menos a una distancia de 20 metros alejadas a una distancia de por lo menos el doble de la altura de cualquier obstáculo que sobresalga al muestreador
- . Libres de restricciones en el flujo de aire en por lo menos 3 de los 4 puntos cardinales
- . Lejos de zonas en donde se esperen modificaciones a corto plazo que puedan afectar las topografía de la zona o el acceso de las estaciones

Para que la información que se obtenga sea comparable, las estaciones deben de tener las mismas características por lo que se recomiendan las siguientes especificaciones:

- . Las tomas de la muestra deben de ser colocadas a 3 o 4 metros sobre el nivel del suelo
- . Instaladas a 1 o 1.5 metros de la superficie horizontal o vertical más cercana
- . Preferentemente en espacios abiertos
- . Mismas características de flujo de entrada
- . Construidas con materiales que no reaccionen con el contaminante colectado

con respecto a cada contaminante se recomiendan los siguientes criterios específicos:

Partículas

Los muestreadores deben de colocarse a una distancia de 2 a 15 metros sobre el nivel del suelo y a 2 metros de la superficie horizontal mas cercana, variando las distancias a las calles o carreteras en función de la altura de los muestreadores.

Dioxido de Azufre

Los muestreadores deben de estar de 3 a 15 metros sobre el nivel del suelo y a una distancia de 1 metro de la superficie horizontal o vertical más cercana y si se colocan en techos de edificios deben de estar a una altura promedio de 0,8 la altura de los edificios de la zona.

Monóxido de Carbono

Los muestreadores deben de estar colocados a una distancia de 2.5 a 3.5 metros sobre el nivel del suelo, a una distancia de 35 metros de las calles o a menor distancia si se trata de zonas habitacionales. en el caso de que esten cerca de una vía que tenga una frecuencia de más de 50,000 vehículos por día los muestreadores deben de estar alejados a más de 250 metros de la vía, asimismo deben de estar lejos de paradas de autobuses, zonas de carga, líneas de vehículos u otras fuentes y a un mínimo de 10 metros de un cruce de calles.

Ozono, Oxidos de Nitrógeno e Hidrocarburos

Los muestreadores deben de estar a una altura de 3 a 15 metros sobre el nivel del suelo, a una distancia de 1 metro mínimo de las superficies horizontales y verticales más cercanas, variando la distancia de los mismos a las carreteras cercanas, en función de la intensidad del tráfico.

En el caso del ozono para evitar interferencias con los óxidos de nitrógeno y evitar errores, deben estar alejados de árboles.

Variables Metereológicas

Se recomienda instalar como mínimo instrumentos a una altura de 10 metros sobre el nivel del suelo y, si es posible, instalar otros instrumentos a diferentes alturas con el objeto de obtener gradientes térmicos y una visión mas completa del comportamiento de la atmosfera torres meteorológicas de 100 metros son utilizadas comúnmente para lo anterior aún cuando en estos momentos se utilizan técnicas de radiosondeo y sensores remotos.

Es importante resaltar que las estaciones deben de estar protegidas contra actos de vandalismo, por lo que se recomienda usar edificios públicos para su instalación, con lo que se consigue al mismo tiempo energía eléctrica segura.

2893241

8. Bibliografía consultada

1. Air Monitoring Programme Design for Urban and Industrial Areas. Ginebra Suiza 1977.
2. Barnes J. Environmental Monitoring. Remote Sensing. Environmental Research Technology June 1980. U.S.A.
3. Benarie M. Urban air pollution modeling. MIT press U.S.A. 1984.
4. Bravo H. La contaminación del aire en México Ed. Universo veintiuno. México 1987.
5. Chang D. Environmental Monitoring. Environmental Research Technology June 1980. U.S.A.
6. Compilation of air pollution emission factors. ap-42 fourth edition U.S.Environmental Protection Agency U.S.A. 1985.
7. Espitia a. criterios para el diseño de sistemas de monitoreo de contaminantes atmosféricos. publicado en el Seminario sobre Administración y Tecnología del Medio Ambiente. ICATEC/ERT/CONACYT. marzo 1981. México.
8. Garza G. Concentración espacial de la industria en la ciudad de México revista a. vol v no. 11 enero/abril 1984. UAM-azcapotzalco. México.
9. Giorgio J.A " Contaminación Atmosférica. Métodos de medida y redes de Vigilancia" Ed. Alhambra Madrid, España 1977
10. Hernandez B, Calderon E. Crecimiento actual de la población de México. Ciencia y Desarrollo num. 76 año xiii septiembre- octubre 1987. México.
11. Hesketh H. "Understyanding & controlling air polltion" Lewis U.S.A. 1972.
12. Kroon D.J. Instrumental methods for automatic air monitoring stations. publicado en air Pollution Control part III editado por Werner Strauss. John Wiley & Sons U.S.A. 1978.
13. Lippman M. "Chemical contamination in the human environment". Oxford University Press. U.S.A. 1979.
14. Ludwig F.L. & Kealoha. Selecting sites for carbon monoxide monitoring. EPA-450/3-75-077. U.S. Environmental Protection Agency. U.S.A. 1975.
15. Miller T & Armstrong P. "Living in the environment" Wadsworth Inc. U.S.A. 1982.
16. Moore D.J. Planning & executing of an air pollution study. publicado en Handbook of Air Pollution Analysis editado por Perry R. & Young J.R. Chapman & Hall London 1977.
17. Munn R.E. The design of air quality monitoring networks. University of Toronto, Canada June 1980
18. Noll, K.E. & miller T.L. Air monitoring survey design, Ann Arbor Science Publisher U.S.A. 1977.
19. DMS/DPS " Serie de criterios de salud ambiental B. Oxidos de azufre y partículas en suspensión publicación No. 424 Organización Panamericana de la Salud. México 1982.

20. Organización Mundial de la Salud "Selección de Procedimientos para Medir la Contaminación del Aire" publicación No. 24 OMS Ginebra 1976.
21. Peterson Jack. "Industrial Health" Prentice Hall U.S.A. 1977.
22. Problemas de la circulación vial de la ciudad de México y su posible tratamiento. Cámara Nacional de Comercio de la Ciudad de México, México 1981.
23. Programa de prevención de contingencias ambientales. invierno de 1986. CONADE, SEDUE. México.
24. Rossano A.T. & Thielke J.F. diseño y funcionamiento de los sistemas de vigilancia de la calidad del aire. publicado en el Manual de la calidad del aire en el medio urbano. Organización Panamericana de la Salud. editado por Suess M.J. & Craxford S.R. México 1980.
25. Sacco a. Environmental Monitoring. Air Monitoring . Environmental Research Technology June 1980. U.S.A.
26. Tabachnick, B. Using Multivariate Statistics. Harper & Row U.S.A. 1983.
27. UAM-SEDUE. Plan Rector de Tecnología Para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica y por Ruido. diciembre 1984. México.
28. USEPA "control techniques for particulate emissions from stationary sources" EPA-450/3-81 05a U.S.A. 1982.
29. USEPA "Air quality criteria for particulate matter and sulfur oxides" EPA -600/8-82-029abc U.S.A. 1982.
30. Vukowich j. Sampling Network Selection in urban areas. publicado en Air Pollution Control part III editado por Werner Strauss. John Wiley & Sons U.S.A. 1978.
31. Warner P "Análisis de los contaminantes del aire" Ed. Paraninfo Madrid, España. 1981.
32. World Health Organization "Environmental Health Criteria 4. Oxides of Nitrogen " WHO, Geneva 1977.
33. World Health Organization "Environmental Health Criteria 7. Photochemical Oxidants" WHO, Geneva 1978.
34. World Health Organization "Environmental Health Criteria 13. Carbon Monoxide" WHO, Geneva 1979.

Taller II de ingeniería ambiental

Se terminó de imprimir en La edición estuvo a cargo
el mes de marzo del año 2006 de la Sección de Producción
en los talleres de la Sección y Distribución Editoriales
de Impresión y Reproducción de la Se imprimieron
Universidad Autónoma Metropolitana 50 ejemplares más sobrantes
Unidad Azcapotzalco para reposición.

ISBN: 970-654-994-3



978-97065-49945

TALLER II DE ING. AMBIENTAL

ESPITIA

* SECCION DE IMPRESION

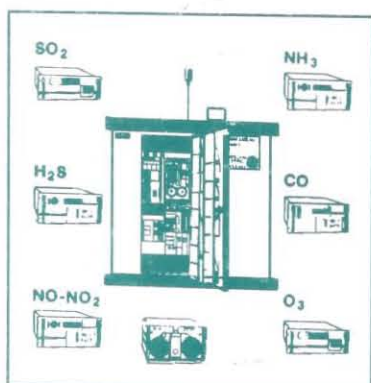
04385



\$ 7.00

\$ 7.00

2893241
Espitia Cabrera, Alfonso
Taller II de ingeniería a



0092101 04385



7.00 - \$ 7.00

UNIVERSIDAD
AUTONOMA
METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

División de Ciencias Básicas e Ingeniería
Departamento de Energía

Coordinación de Extensión Universitaria
Sección de Producción y Distribución Editoriales